



Anexo I

O Potencial Hídrico do Nevoeiro
na ilha da Madeira

O Potencial Hídrico do Nevoeiro na ilha da Madeira

Susana Prada
Universidade da Madeira

Situada na região oriental do oceano Atlântico, entre os meridianos 16°39' e 17°16' W e os paralelos 32°38' e 32°52' N a ilha da Madeira ergue-se acima de uma vasta planície submarina, no seio da placa Africana, numa zona onde a crosta oceânica tem 130 Ma, formando um maciço vulcânico com cerca de 5.5 km de altura, do qual, apenas 1/3 se encontra emerso.

A Ilha da Madeira, originada no Miocénico superior, é um exemplo de magmatismo oceânico intraplaca - um *hot-spot*, cuja actividade vulcânica se prolongou até há cerca de 6 000 anos.

Com 737 km² de superfície, 58 km de comprimento, por 23 km de largura, e uma altitude máxima de 1861 m, o Pico Ruivo, a ilha constitui um enorme contraforte de orientação E-W, recortado por profundos vales. O aspecto geral, actual, da ilha vista do mar, apesar do seu relevo contrastante e dos vales profundamente incisos, é o de um escudo achatado, dissecado pela erosão vertical, cujos bordos teriam sido quebrados pela erosão das vagas. Quase toda a linha de costa da ilha da Madeira, com 153 km de perímetro, é uma sucessão de arribas abruptas, que atingem, no Cabo Girão, a altura máxima de 580 m.

Ao contrário do vulcanismo que se encontra apenas adormecido, a Madeira parece ser, do ponto de vista sísmico, inactiva.

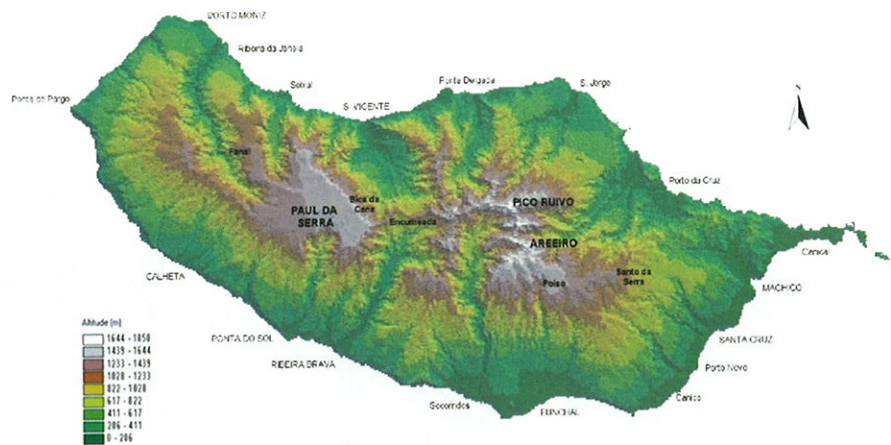


Figura 1 – Relevo da ilha da Madeira (Prada et al. 2003)

O clima na ilha da Madeira é fortemente influenciado pela intensidade e localização do anticiclone subtropical dos Açores, tendo, no entanto, a altitude e orientação do relevo um efeito de diferenciação climática local. O anticiclone é responsável pelo transporte de ar tropical marítimo, especialmente na parte oriental, onde os fenómenos de subsidência são frequentes e intensos e ocorrem os ventos de Nordeste (Alísios) na baixa troposfera, predominando durante todo o ano.

O facto de o relevo apresentar uma orientação perpendicular à direcção predominante do vento, de NE, dá origem a que a temperatura e quantidade de precipitação possam ser bastante diferentes, à mesma cota, mas em encostas com diferentes exposições aos ventos predominantes.

Verifica-se, para a globalidade da ilha da Madeira, um aumento da precipitação com o acréscimo da altitude, de natureza não linear, ou seja, nas cotas mais baixas, até aos 600m, a um aumento de altitude corresponde um rápido aumento da precipitação, que se torna cada vez mais lento entre as cotas 600 e 1600m, com tendência para estabilizar a partir dos 1 600m. A precipitação depende, ainda, da orientação das vertentes, sendo em regra superior na vertente norte do que na sul, para a mesma cota.

As maiores precipitações ocorrem na Bica da Cana, a 1 560m de altitude, com um máximo de 2966,5 mm/ano, decrescendo acima desta cota. Nas terras baixas da encosta sul da ilha, como o Funchal e o Lugar de Baixo, registam-se os valores mais baixos de precipitação anual, 513 mm e 583 mm, respectivamente.

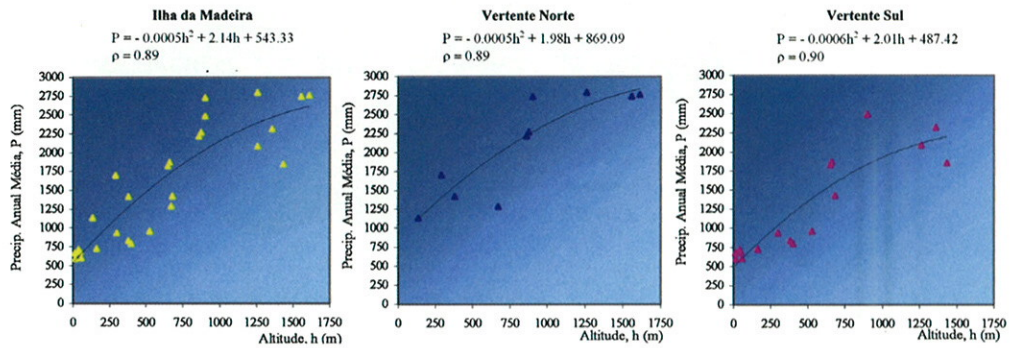


Figura 2 - Relação entre a precipitação anual média e a altitude, estabelecidas para todos os postos da ilha, para os localizados na vertente norte e os da vertente sul, respectivamente (Prada et al. 2003).

Quanto à variação temporal da precipitação é mais intensa nos meses de Outubro a Abril, correspondendo o período menos chuvoso ao de Junho a Agosto.

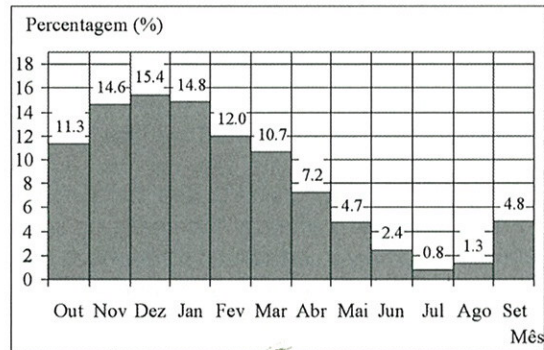


Figura 3 - Precipitações médias mensais na ilha da Madeira expressas em percentagem da precipitação anual média (Prada et al. 2003)

Os valores médios da nebulosidade na Madeira são maiores do que sobre o mar na região em que está situada, devido à formação de nuvens e nevoeiros orográficos: o ar húmido marítimo ao encontrar a ilha, barreira montanhosa de orientação perpendicular à direcção predominante do vento, de nordeste, vai sofrer uma subida forçada ao longo da encosta. O ar que foi obrigado a subir, arrefece adiabaticamente, condensando em pequenas partículas que ficam em suspensão na atmosfera, constituindo nuvens ou nevoeiros, consoante a condensação se dá em altitude ou junto da superfície do globo, respectivamente (Figura 4).

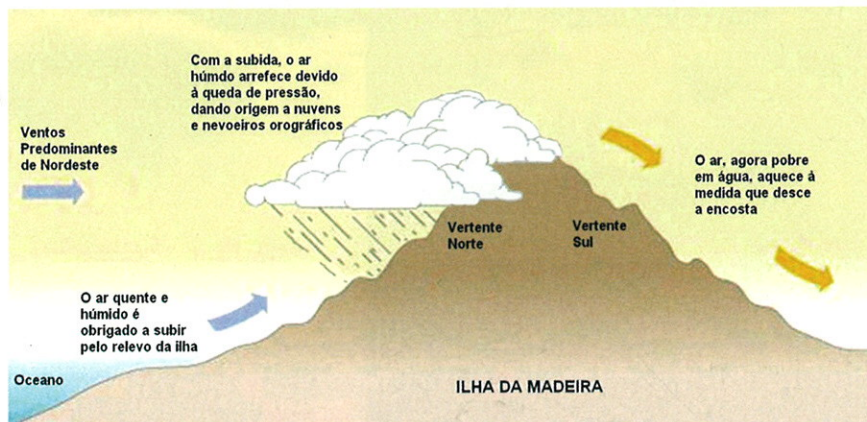


Figura 4 – Esquema do mecanismo de formação das nuvens e nevoeiros orográficos na Madeira.

Na Madeira os nevoeiros são quase exclusivamente orográficos, formando-se a barlavento da elevação, com tendência para se dissiparem a sotavento, sendo a variação anual da frequência pouco nítida. Atingem, na Bica da Cana, 235 dias/ano e no Pico do Areeiro 229 dias/ano.

Em relação à variação em altitude, as massas de ar húmido podem começar a condensar a altitudes relativamente baixas, a partir dos 400 m, até altitudes de cerca de 1600 m, fixando-se a cobertura nebulosa entre os 600-800 m e os 1600 m (Figura 5).

O seu conteúdo em água líquida varia, de acordo com Frisch *et al.* (1994), entre os $0,25 \text{ g/m}^3$ no centro da nuvem e os $0,01 \text{ g/m}^3$ na sua base.



Figura 5 – Cobertura nebulosa da ilha da Madeira.

É esta persistente e espessa cobertura nebulosa que na presença simultânea de vegetação, protagoniza o fenómeno designado por precipitação oculta, a qual se tem vindo a revelar ser um recurso de elevado potencial hídrico na Madeira (Figura 6).

Os recursos hídricos subterrâneos constituem a principal fonte de abastecimento na Madeira, ilha com cerca de 240 500 habitantes cujo volume anual de recursos subterrâneos consumido, no abastecimento público, indústria, rega e produção de energia, é de 185 000 000 m³.



Figura 6 – Gotículas de nevoeiro retidas pela vegetação (Prada *et al.* 2008).

Considera-se, assim, que para além da precipitação directa sob a forma de chuva (média anual para a ilha de 1 636 mm), principal fonte de recarga dos recursos hídricos subterrâneos, existe, na Madeira, uma outra considerável parcela de recarga, proveniente da interacção do nevoeiro com a vegetação arbórea do interior da cobertura nebulosa, a precipitação oculta.

As nuvens ou nevoeiros - considera-se nevoeiro uma nuvem baixa com base assente sobre a superfície topográfica, não havendo, por conseguinte, diferença entre nuvem e nevoeiro - são formados por uma fase gasosa, constituída por vapor de água, de todas a mais abundante, por uma fase sólida que, a existir, é representada por minúsculos cristais de gelo e por uma fase líquida constituída por minúsculas gotículas de água (entre 1 e 100 m de diâmetro).

As gotas de água nesta franja mantêm-se em suspensão na atmosfera, uma vez que a sua pequena velocidade de queda é bastante inferior à velocidade das correntes ascendentes que existem no interior da nuvem. Só um número muito reduzido de gotículas de nevoeiro, arrastadas pelo vento, pode precipitar directamente sobre o terreno em quantidades diárias que raramente excedem os 0,2 mm. As baixas velocidades de deposição (entre 1 e 75 cm s⁻¹) fazem com que sejam "varridas" por velocidades do vento superiores a 1 m s⁻¹ tendo, por isso, um percurso muito próximo da horizontal.

Toda a vegetação funciona como um obstáculo à passagem do vento que arrasta o nevoeiro, na qual, por um mecanismo de colisão, as gotículas de nevoeiro são retidas, avolumam-se, adquirindo peso suficiente para precipitar no solo. É este tipo de precipitação, que por não ser detectada pelos udógrafos destinados a quantificar a chuva, é designada por precipitação oculta.

Também conhecida por outras designações, tais como: precipitação horizontal, condensação de nevoeiros, potencial hídrico dos nevoeiros, ordenha das nuvens, escorrimento de nevoeiros, captação da humidade atmosférica e precipitação por intercepção directa da água das nuvens é, esta última, de entre todas a que melhor traduz o processo, pois sugere que, na ausência de intercepção, não haverá deposição significativa, o que na realidade acontece.

Nos locais onde o nevoeiro é frequente, grande quantidade de água pode ser transportada pelo vento. Se considerarmos o valor médio da água líquida no nevoeiro, 1 g /m³ e 20 km/h, a velocidade média do vento que atravessa uma área vertical de 1m², colocada a 1m do solo, verifica-se que, num metro quadrado normal ao fluxo, passam cerca de 20 l de água por hora!

A vegetação natural das zonas altas da ilha da Madeira – o urzal de altitude – em locais onde a precipitação média anual é de 3000 mm, chega a captar cerca de 5000 mm/ano de água extra, exclusivamente dos nevoeiros. Estes

resultados mostram que os nevoeiros são, na presença simultânea de um obstáculo e de vento, um recurso de elevado potencial hídrico.

Com um "Standard Fog Collector" instalado na Bica da Cana obtiveram-se produtividades médias de cerca de 20 l/m² de área vertical/dia, tendo-se chegado a atingir 100 l/m², num só dia! Este valor aproxima-se o valor máximo teórico esperado, que seria de 104 l/m²/dia, calculado para uma área vertical de 1 m² (apenas 60% da superfície é capaz de interceptar as gotículas), atravessada por ventos de nordeste a uma velocidade média de 8 m/s, e que arrastam nevoeiros durante 24 h, com um conteúdo em água líquida de 0.25 g/m³. A produtividade média anual do "Standard Fog Collector" foi de 4 700 l/m²/d.



Figura 7 – Estação de captura de água atmosférica instalado na Bica da Cana, no âmbito do Projecto Dysdera.

Perante caudais potenciais desta grandeza, e apesar de se reconhecer que a extracção total da água líquida contida nos nevoeiros é impossível, vários investigadores, em todo o mundo, têm vindo a desenvolver técnicas de captação e quantificação desta água, que apesar de não ser registada pelos udógrafos, representa, em muitos casos, uma significativa parcela da recarga subterrânea, assim como um importante complemento às fontes tradicionais de abastecimento de água, chegando mesmo a ser, em certas zonas de elevada escassez hídrica, a principal fonte de abastecimento das populações.

Numa altura em que é inquestionável que o planeta tem vindo a sofrer desde meados do séc. XIX um aumento da temperatura média do ar, subida esta que terá, obviamente, impactos no clima e conseqüentemente nos recursos hídricos, onde, pela relação directa que possuem, os impactos serão mais significativos, a captação da água dos nevoeiros, quer através de colectores naturais - a reflorestação - quer através de colectores artificiais - os painéis verticais - assume-se como a medida de adaptação mais adequada para minimizar e compensar os efeitos dos impactos provocados pelas alterações climáticas sobre os seus recursos hídricos superficiais e subterrâneos da ilha da Madeira.

Bibliografia

Prada, S., Silva, M. O. 2001. Fog precipitation on the island of Madeira (Portugal). *Environmental Geology* **41**, pp. 384-389. **Prada, S., Gaspar, M. A., Silva, M. O., Cruz,**

J. V., Portela, M. M., Hora, G.R. 2003. Recursos hídricos da ilha da Madeira". *Comun. Inst. Geol. e Mineiro* **t.90**, pp. 125-142.

Prada, S., Gaspar, M.A., Menezes de Sequeira, M., Nunes A., Figueira, C., Cruz, J.V. 2005. Disponibilidades Hídricas da Ilha da Madeira. In: *AQUAMAC - Técnicas y métodos para la gestion sostenible del agua en la Macaronesia. Edição do Instituto Tecnológico de Canarias*, p. 261-294.

Prada, S., Silva, M.O., Cruz, J.V. 2005. Groundwater behaviour in Madeira, volcanic island (Portugal). *Hidrogeology Journal*, **13**, 800-812.

Prada, S.. O Potencial do Nevoeiro como Recurso Hidrológico. In: Veiga da Cunha, Serra, Vieira da Costa, Ribeiro, Proença de Oliveira, ed. "Reflexos da Água". *Livro comemorativo do 30º Aniversário da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, APRH: 60-61.

Prada, S., M. Menezes de Sequeira, S. Mesquita, A. Gaspar, C. Figueira, A. Pontes, M. O. Silva 2008. Avaliação preliminar do contributo global da precipitação oculta para os recursos hídricos da ilha da Madeira. *Livro de resumos das comunicações do 9º Congresso da Água. Portugal.*

